

# 과학자의 탐구 과정을 재구성한 광합성 실험 모듈의 개발과 적용

김호기 · 김연주 · 김성하\*

한국교원대학교

## Development and Application of the Photosynthesis Experimental Module Based on Scientist's Inquiry Processes

Ho-Gi Kim · Yeon-Ju Kim · Sung-Ha Kim\*

Korea National University of Education

**Abstract:** This study was intended to develop an experimental module based on inquiry processes conducted by photosynthesis scientists. It was aimed to enhance scientific inquiry ability of the middle school students by applying the developed module. Developed module included some experiments conducted by earlier photosynthesis scientists such as Helmont, Woodward, Priestly, Hales and Ingen-Hausz. Inquiry process was involved in the developed module for instructing the inquiry methods. Rapid-cycling Brassica rapa known as a Fast Plant was used for the experimental material. Developed module was applied to the experimental group consisting 27 eighth grader, while experiments suggested in the science textbook was applied to the control group consisting 30 eighth grader. Developed module was more effective in improving students' scientific inquiry ability, especially measuring, forecasting and hypothesizing ability as its subordinate elements. When the result of post-test was compared to one of pre-test in the experimental group, their observing, forecasting, and generalization ability were improved. Experimental group showed that students' conception in photosynthesis and conceptual development related with the role of plants in the ecosystem and plant's food and movement of the water and nutrients were also improved. Before application, students in the experimental group did not have enough understanding of the abstract concept such as the existence or the role of the materials like CO<sub>2</sub> or O<sub>2</sub> or the energy accumulation. Developed module could help students to achieve the comprehensive concept regarding the role of plants as producers of organic matter and oxygen and to enhance their scientific inquiry ability and concepts regarding photosynthesis.

**Key words:** experimental module, inquiry process, photosynthesis scientist, conceptual development

### I. 서 론

식물의 광합성은 피상적인 관찰을 통해서 쉽게 확인할 수 있는 자연 현상이 아니다. 물론 광합성에 필요한 원료 물질이나 광합성의 산물을 확인하는 실험이 교과서에 소개되고 있지만, 그런 단편적인 지식으로는 다양한 생화학적 작용이 복합된 광합성 과정을 의미 있게 이해하기 어렵다. 그러므로 이전 광합성 연구자의 아이디어와 사고 논쟁의 과정을 재구성한 실험 모듈을 제공하면 효과적으로 탐구하는 방법을 배우고 탐구 결과를 통해 자연스럽게 광합성에 관련된 개념을 획득하게 될 것이다.

과학 탐구 모델을 개발하기 위해 대학·산업 연구소 과학자 10명의 연구전략 및 연구과정을 분석하여 선택적 전략 탐구 모델을 개발한 오창호(2008)도 문제 상황에서 탐구방법의 논리적 연계가 필요하므로 탐구능력을 향상시키기 위해 과학자의 연구과정에 기반한 탐구 모델 개발이 필요하다고 하였다. 이기영(1998)은 과학적 소양을 길러주는 과학학습을 위해, 자신들과 비슷한 사람들이 일상생활 속에서 노력으로 이루어낸 과학적 산물들을 예로 들어 과학에 대한 불필요한 거리감을 없애주는 과학사를 도입해야 한다고 주장했다. Solomon(1992)은 과학사 프로그램의 도입 효과로 과학 개념의 폭넓은 이해를 강조했고,

\*교신저자: 김성하(shkim@knu.ac.kr)

\*\*2011년 10월 24일 접수, 2011년 12월 20일 수정원고 접수, 2011년 12월 21일 채택

Matthews(1992) 또한 과학사는 과학 철학의 현대적 관점을 제공해줄 수 있으며 이론 형성과 발달 과정을 보여줌으로써 과학 이론의 잠정성 제공은 물론, 결과 중심의 지식 전달보다 지식을 얻기까지 탐구과정과 방법에 대한 중요성을 학습자에게 제공해줄 수 있다고 했다. 동효관 등(2002)도 과학사를 활용한 교수 전략이나 교수학습 모듈을 통해 단순한 지식 암기나 기술 습득보다, 과학자들의 경험을 토대로 문제를 인식하고 비판적 고급사고 능력을 이용해 창의적으로 문제를 해결할 수 있는 기회를 제공해야한다고 강조했다. 과학 본성의 현대적 관점, 인식론적 신념의 향상, 학업 흥미도 및 사고력 증진, 통합탐구능력을 고려해 개발한 정배현과 김희백(2003)의 과학사 접목 수업은 문제해결에 필요한 흥미와 집중력 증가, 기억력 향상, 탐구 과정에 대한 경험과 사고 과정의 연습이 탐구 사고 문제의 해결에 효율적인 방향을 제시한다. 또한 교사는 학생을 독창적인 연구자로 보고 과학자의 사고 과정 이해를 촉진하는 과학적 탐구에 참여시켜야 하며, 훈련되고 조직된 양식이나 규칙을 배워서 적용시키는 것보다 방대한 과학적 사고와 상상력을 자극해야 한다(Jenkins, 2007).

이 연구에서 개발한 실험 모듈은 탐구학습을 바탕으로 개발되었다. 광합성 연구자의 탐구 과정을 이해하는 과정에서 스스로 지식을 생산해 나갈 수 있도록 기회와 동기를 부여하며, 교사는 촉진자의 역할로 학생 스스로 문제 유형을 찾고 문제를 제기하여 자신만의 모형, 개념, 전략을 세워 의미 있는 발견을 하게 하였다. 이제까지 교과서에 소개된 광합성 실험은 거의 같은 식물 재료를 가지고 서술된 대로 실행하는 실험 수업이어서, 스스로 가설을 설정하고 검증하는 탐구 학습은 물론 광합성의 개념조차 제대로 이해하지 못한 학생이 대부분이다(이현미 등, 2002). 하지만 최근 교과서에 인용된 광합성 단원의 과학사는 광합성이 밝혀지기까지 단계적으로 진행되어 온 과학자의 실험을 소개함으로써 과학 방법의 학습과 과학 개념 획득 학습을 목표로 하고 있다(김현미, 2006). 위관량과 김성하(2002)는 광합성에 관련된 과학사를 활용한 수업이 과학자들의 사고와 탐구 방법을 간접 경험하도록 하여 탐구능력 성취에 유의미한 향상을 보이고, 강경희와 허명(2005)은 생명과학 분야에서 과학사를 활용한 수업이 과학성취도와 태도를 향상시켰다고 밝혔다. 식물을 재료로 하는 실험 학습의 경우 수업 시간의

제한과 보관의 어려움으로 현장에서 많이 소개되지 못하고 있다는 지적에 따라, 이 연구에서는 속성 식물인 Fast Plant를 실험 재료로 선택했다. Fast Plant는 생활사가 40일 정도로 짧고 연속 광조건 실험실 내에서 재배가 쉬워 탐구능력과 과학지식 성취도 향상에 효과성이 입증된 식물이다(Williams, 1986; 김한수 등, 2001). 이 연구에서는 광합성의 연구에서 많은 과학자가 떠올린 창의적인 아이디어, 사고, 논쟁의 과정, 구조화된 탐구 절차를 학습자가 직접 체험할 수 있도록 재구성한 실험 모듈을 개발한 후, 중학교 2학년 학생들에게 적용하였을 때, 과학 탐구 능력과 광합성에 관련된 개념 성취도 향상 효과 및 수업을 통한 광합성 관련 개념 변화의 패턴을 알아보려고 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 모듈의 개발

#### 1) 개발 주제의 선정

단편적인 지식으로 다양한 생화학적 작용이 복합된 광합성 과정을 의미 있게 이해하기 어려우므로 과학자의 탐구 과정을 재구성한 실험 모듈을 개발 주제로 선정했다. 과학사와 중학교 2학년 과학 교과서에 소개된 광합성 연구자들의 탐구 과정과 광합성 과정의 내용을 분석한 후, 학습자의 탐구 활동 강조, 자료의 수집과 평가, 의사소통 기능 강화, 탐구를 위한 교사의 제공 단서, 시험용 질문의 개발을 내용으로 한 체계적인 모듈을 개발했다.

#### (1) 광합성 연구자의 탐구 과정

원소, 화합물, 화합물의 생성과 분해, 에너지 등 복합적 개념이 포함되어 있는 광합성에 대해 과학자들의 탐구 과정을 순차적으로 <표 1>과 같이 정리하여 광합성 연구자의 탐구 과정을 재구성한 모듈 개발의 기초로 삼았다.

#### (2) 과학 교과서에 소개된 광합성 연구자의 탐구 과정

제7차 교육과정 중학교 과학2 교과서(김찬중 등, 2002; 박봉상 등, 2002; 소현수 등, 2002; 이광만 등, 2002; 이성목 등, 2002; 정안호 등, 2002)에 소개된 광합성 연구자의 탐구 과정을 분석하여 조사한 실험 학

표 1 광합성 연구자의 탐구 과정

시대	연구자	탐구 과정의 핵심
그리스	아리스토텔레스	식물의 뿌리는 동물의 입과 같아 먹이를 흡수한다는 철학적 사고
1627년	헤일스 (Hales)	물 표면에서 약 14%의 공기 부피 감소를 확인하고 광합성에 어떤 공기 성분이 사용됨을 예견
1648년	헬몬트 (Helmont)	5년간 버드나무 생체중량 증가량과 흙의 무게 감소량의 차이를 발견하여 물이 생장에 필요함을 예견
1766년	우드워드 (Woodward)	77일간 빛물을 준 식물의 중량 측정해 본 결과, 빠져나간 물은 구성 물질이 아니며 구성 물질의 운송 수단임을 발견
1772년	프리스틀리 (Priestly)	밀폐 공간 속, 식물과 같이 있는 쥐가 빛이 있을 때만 생존함을 보고 식물의 공기정화기 능 예견
1779년	잉겐하우스 (Ingen-Hausz)	빛이 있을 때 녹색 잎을 가진 식물의 공기 정화 기능 확인
1780년	버소렛 (Berthollet)	수중 식물 조직에서 수소를 발견한 후, 산소도 수소처럼 물로부터 발생한다고 주장
1782년	제네비어 (Senebier)	CO <sub>2</sub> 녹은 물 속 식물 잎만 산소를 방출하므로, 산소는 물이 아니라 이산화탄소에서 유래한다고 주장
1804년	소쉬르 (Saussure)	질량보존의 법칙을 활용하여 소모된 이산화탄소양보다 생성량이 많다는 사실에서 물도 이용된다는 제안
1842년	메이어(Meyer)	빛에너지를 화합물 내의 화학에너지로 변환시켜 저장함 발견
1864년	작스(Sachs)	빛에 노출된 잎(엽록체)에서만 유기물인 녹말이 생성됨 발견
1882년	앵겔만 (Engelmann)	분광기, 녹조류, 호기성세균을 이용해, 산소가 발생하는 광합성에 적색과 청색의 빛을 가장 많이 이용됨을 확인
1905년	블랙만 (Blackman)	빛, 온도를 조작하여 수생 조류 광합성에 빛이 관여하는 명반응, 빛이 불필요한 암반응 2단계가 존재함을 확인
1949년	벤슨(Benson)	암반응 과정은 빛 대신 CO <sub>2</sub> 만 이용하므로 빛이 불필요함을 발견
1931년	닐(Niel)	유황세균의 경우 물대신 H <sub>2</sub> S 이용하여 산소 아닌 유황 생산하므로 산소는 물에서 유래함을 주장
1937년	힐(Hill)	엽록소 현탁액에 페리시안화물을 넣고 산소의 발생을 확인하여 산소 발생에 CO <sub>2</sub> 불필요함을 확인
1941년	루벤(Ruben)과 카멘(Kamen)	방사성 동위원소 추적 가능성을 활용하여 <sup>18</sup> O이 0.85% 포함된 H <sub>2</sub> O를 식물에 공급하면, 발생하는 산소의 <sup>18</sup> O 비율도 0.85%임을 증명
1945년	캘빈(Calvin)	<sup>14</sup> CO <sub>2</sub> 추적 기능을 이용해 빛을 흡수한 명반응 산물인 ATP와 NADPH <sub>2</sub> 는 CO <sub>2</sub> 고정하는 암반응에 이용됨을 주장
1954년	아논(Arnon)	엽록체에 빛을 준 경우에만 ATP 생성(광인산화)됨을 발견
1965년	코르작 (Kortschak)	사탕수수에서는 캘빈의 암반응과 다른 반응계에 의해 CO <sub>2</sub> 가 고정됨을 확인

습이 가능한 탐구 내용을 <표 2>와 같이 선정하였다.

## 2) 개발된 실험 모듈의 구성

전통적 실험 수업을 실시한 <표 3>과 같은 통제반의 수업 구성과 달리, 개발된 실험 모듈은 교사와 학생의 활동이 역동적으로 이뤄질 수 있는 실험 모듈 I

과 II, 총 4차시로 구성하였다. 개발된 모듈 수업은 문제 상황을 제시한 교사의 중심 질문에 학생들이 다양한 아이디어를 생산하고, 교사는 학생들의 초기 아이디어에 개방적 질문을 한 후, 토론·논쟁 등 의사소통 탐구 상황을 관찰한다. 학생들은 아이디어 공유, 절충, 조정을 통해 현상을 탐구한 후, 과학자의 탐구

표 2 과학2 교과서의 광합성 단원과 관련된 연구자의 탐구 과정

탐구 내용	교과서 관련 단원	광합성 연구의 과학사적 배경	탐구 요소
식물의 먹이는 무엇인가?	광합성에 필요한 물질	Helmont의 실험 Woodward의 실험	실험설계, 변인통제, 결과의 예측
식물은 광합성 과정에 기체를 이용하는가?	광합성에 필요한 물질	Hales의 실험	관찰, 자료해석
식물은 양초의 연소에 의해 더럽혀진 공기를 정화하는가?	광합성에 의해 만들어지는 물질	Priestly의 실험	추론, 가설설정, 실험설계, 변인통제, 자료해석
식물의 광합성 과정에는 빛이 필요한가?	광합성에 영향을 미치는 환경 요인	Ingen-Hausz의 실험	실험설계, 자료해석

표 3 통제반의 수업 구성

차시	탐구 주제	탐구 과정	내용
1	광합성에 필요한 물질	탐구 목표	물과 이산화탄소가 광합성 재료임을 설명할 수 있다.
		탐구로의 초대	물건 생산에 필요한 것? 광합성 일어나는 장소? CO <sub>2</sub> 의 평형
		탐구 과제	식물이 없는 유리종 속 쥐가 죽는 이유? 아마존 밀림의 영향?
2	광합성에 필요한 물질	탐구 목표	BTB 용액을 이용한 실험으로 광합성 원료를 설명할 수 있다.
		탐구 방법	은박지, 물풀, BTB용액, 날숨을 이용하여 제공된 탐구 진행
		결과 및 토의	BTB 용액+날숨의 색깔? 은박지로 햇빛 차단한 물풀과 비교
3	광합성의 산물	탐구 목표	광합성에 햇빛이 필요함과 광합성의 생성 물질을 알 수 있다.
		탐구로의 초대	식물은 물과 무기양분만 필요할까? 감자 속 양분 생성 과정은?
		탐구 과제	식물의 광합성 작용이 없다면 지구 상 생물은 어떻게 될까?
4	광합성의 산물	탐구 목표	광합성에 햇빛이 필요함과 광합성의 생성 물질을 알 수 있다.
		탐구 방법	어둠상자 속 화분을 꺼내 빛을 준 후, 계속 어둠속에 둔 식물 잎을 탈색 시킨 후 요오드 반응을 비교해본다.
		결과 및 토의	에탄올에 증탕한 잎은 어떻게 변했으며 요오드 반응의 차이는?

과정과 자신의 아이디어를 비교하여 새로운 탐구에 적용해본다. 차시 당 45분씩 실시되는 총 4차시 실험 모듈의 주제와 탐구 과정 및 내용은 <표 4>와 같다.

## 2. 개발된 실험 모듈의 적용

이 연구에서 개발된 모듈을 중학교 2학년 학생들에게 적용하여 과학 탐구 능력과 광합성과 관련된 개념 성취의 향상 및 수업을 통한 개념 변화의 패턴 효과를 알아보고자 하였다.

### 1) 연구 대상

이 연구는 경기도 여주군 소재 Y중학교 2학년 학생 57명을 대상으로 하였다. 실험반 1학급 27명(남학생

12명, 여학생 15명)과 통제반 1학급 30명(남학생 15명, 여학생 15명)으로 구성하였으나, 그 중 처치 기간에 결시한 학생들은 분석에서 제외하였다.

### 2) 연구 설계

개발된 실험 모듈의 수업 효과를 알아보기 위해 실험반의 학생들에게는 이 연구에서 개발한 실험 모듈 수업을, 통제반의 학생들에게는 실험반과 같은 내용의 7차 교육과정 중학교 과학 교과서에 제시된 실험 수업을 실시하였다. 두 집단을 대상으로 사전·사후 검사 설계를 <그림 1>과 같이 실시한 후, 광합성과 관련된 학생들의 사전 개념 유형과 개념 변화의 패턴을 분석하였다.

표 4 개발된 실험 모듈의 차시별 내용

주제	차시	탐구 과정	내용
I 식물의 먹이 는 무엇인가?	1	탐구문제 설정	현상 제시, 아이디어 도출, 중심질문 도입
		현상의 탐구	Fast plant 키우기, 명반으로 종유석 만들기, 관찰 결과의 기록 및 비교 분석
	2	과학자의 탐구과정 소개	헬몬트, 우드워드 탐구과정 소개, 탐구요소의 비판적 분석, 새로운 아이디어 생산
		아이디어 절충조정 적용	중심질문도입, 속성식물에 축적된 에너지량 측정-탐구 설계 및 결과 예측, 탐구수행, 탐구결과 해석 및 결론
II 식물이 양초 를 꺼지게한 공기를다시 정화시킬수 있는가?	3	탐구문제 설정	현상 제시, 아이디어 도출, 중심질문 도입
		현상의 탐구	가설 설정, 탐구 설계, 탐구 결과의 예측
	4	과학자 탐구과정 소개	프리스틀리 탐구과정 소개, 탐구요소의 비판적 분석, 과학자의 탐구과정과 학생 아이디어 비교, 새로운 아이디어 생산
		아이디어 절충조정 적용	중심가설 설정(학생·과학자·교사의 아이디어 절충), 탐구 설계 및 결과 예측, 탐구수행, 탐구결과 해석 및 결론 진술
		아이디어의 변화 반영	탐구과정을 통한 학생들의 변화 반영, 추가 의문 도출

실험반 (n=27)	O <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>
통제반 (n=30)	O <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>

O<sub>1</sub>: 사전검사(과학탐구능력 검사, 광합성 관련 개념 검사)  
 X<sub>1</sub>: 개발된 실험 모듈 처치(실험반)  
 X<sub>2</sub>: 교과서 실험 처치(통제반)  
 O<sub>2</sub>: 사후검사(과학탐구능력 검사, 광합성 관련 개념 검사)

그림 1 연구 설계

### 3) 검사 도구

#### (1) 과학탐구능력 검사

권재술과 김범기(1994)가 개발한 초·중학생들의 과학탐구능력 검사지를 사용하였다. 검사지의 문항은 4지선다형 총 30문항, 30점 만점으로 기초탐구능력 측정 문항 15문항과 통합탐구능력 측정 문항 15문항으로 구성되어 있다. 기초 탐구 능력에는 관찰, 분류, 측정, 예상, 추리가 포함되며, 통합 탐구 능력에는 자료변환, 자료해석, 가설설정, 변인통제, 일반화 등이 포함되어서 각 요소 당 3문항으로 구성되어 있다.

#### (2) 광합성 관련 개념 검사

식물의 광합성과 관련된 9개 문항을 연구자가 개발하여 과학교육 전문가와 현직 교사 20명에게 문항에

대한 타당도를 검증받았으며 Cronbach's  $\alpha$ 값은 .71이다. 예비 적용한 검사지의 결과를 분석하여 최종 범주화한 개념 유형의 분류 기준은 <표 5>와 같다. 광합성 개념 검사의 내용과 배점은 <표 6>과 같다. 통제반과 실험반의 수업 효과를 비교하기 위해 동일한 검사지로 사전·사후 검사를 실시하였다. 각 문항은 서술형으로 답하도록 되어있으며, 생태계 내에서의 식물의 역할, 식물의 먹이, 식물체 내에서 물과 양분의 이동, 광합성 결과 생산되는 기체를 묻는 문항으로 이루어져 있으며 답과 답을 선택한 이유를 모두 적도록 되어있다. 광합성 개념 검사의 득점은 광합성 관련 수업에서 학생들이 성취할 것으로 기대하는 개념 하나에 1점씩 점수를 부여하여 총 27점 만점으로 득점을 산출하였다.

#### (3) 검사자료의 처리 및 분석 방법

사전·사후 검사의 두 독립 표본 t-검정을 이용하여 두 집단 간의 유사성을 검정하고, 개발된 모듈을 적용한 수업의 효과로 실험반과 통제반의 과학탐구능력 과 광합성 관련 개념의 성취도를 검정하였다. 실험반과 통제반 사전·사후 검사의 두 종속 표본 t-검정을 이용하여 개발된 모듈의 효과를 조사하였다. 검사 결과는 SPSS(ver 10.0)를 이용하여 통계 처리하였다.

표 5 광합성 관련 개념의 유형 분류 기준

개념 유형	유형 분류 기준
단순 서술형	단순하게 문제의 내용을 반복하듯 근거 없이 대중 응답하는 형태
직관적 설명형	경험이나 피상적인 관찰에 근거하여, 과학자들의 지식과 다르지만 나름대로 논리적인 체계를 갖추어 자연 현상을 해석하는 형태
합목적적 설명형	자연 현상에 대해 합목적적인 설명을 하는 형태
올바른 설명형	과학자들의 지식과 일치하는 과학적인 설명을 하는 형태
틀린 설명형	문제의 의도와 전혀 무관한 설명을 하거나, 논리적인 근거가 전혀 없이 설명을 하는 형태

표 6 광합성 개념 검사의 내용 및 배점

문항	관련 개념	검사 내용	배점 (27점)
1	식물의 역할	생태계 내에서 유기물의 생산자로서 식물의 가치를 이해하는가? 그리고 산소 생산자로서의 식물의 가치를 이해하는가?	4
2		식물이 광합성 결과 산소를 생산한다는 것을 알고 있는가? 그리고 산소 생산자로서 식물의 역할을 동물의 기관에 적용하여 설명할 수 있는가?	2
3		식물의 생장에 필요한 환경 요인을 얼마나 알고 있는가?	8
4	식물의 먹이	생물이 살아가는데 있어서 먹이의 필요성을 인식하고 있는가? 그리고 그 필요성을 에너지의 생산과 연관 지을 수 있는가?	2
5		동물과 식물의 먹이의 차이점을 이해하는가? 그리고 독립영양생물과 종속영양생물로서 동·식물 차이를 이해하는가?	2
6	물과 양분의 이동	식물체 내에서 물의 이동 방향을 알고 있는가? 그리고 식물에 대해 물의 필요와 광합성 작용을 연관 지을 수 있는가?	2
7		식물에게 필요한 영양물질의 종류와 식물체 내에서의 이동 방향을 알고 있는가? 그리고 식물에게 영양 물질은 왜 필요한가를 이해하는가?	2
8	광합성과 기체	광합성에 필요한 탄소의 공급원이 공기 중의 이산화탄소라는 것을 알고 있는가? 그리고 식물이 공기 중의 이산화탄소를 받아들이는 통로를 알고 있는가?	2
9		식물의 광합성 과정에 이산화탄소가 사용됨을 알고 있는가? 그리고 기체의 양에 따른 압력의 변화를 연관 지어 설명할 수 있는가?	3

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 개발된 실험 모듈의 구성과 내용

이 연구에서 개발된 모듈은 광합성의 연구사에서 과학자에 의해 수행된 탐구 과정을 학교 현장에서 이용 가능하도록 재구성하여, 과학자의 탐구 과정에 포함된 탐구의 방법과 절차를 학생들 스스로 학습하도록 하고 있다. 따라서 모듈을 적용한 수업을 통하여 광합성과 관련된 개념의 습득보다는 사고하는 방법 또는 탐구하는 방법의 신장을 더욱 중요시하였다.

모듈은 광합성에 필요한 원료 물질과 광합성의 결과로 발생하는 기체의 성질을 밝히는 것을 주 내용으로 하였다. 각 모듈은 현상의 관찰 또는 학습자의 경

험으로부터 도출된 중심 질문과, 학생 자신에 의한 탐구, 과학자의 탐구 과정의 소개, 과학자 또는 교사의 아이디어와 학생의 아이디어를 절충한 탐구 활동을 포함한다. 학생 자신이 탐구의 전 과정을 계획하고 수행하도록 하였다.

#### 1) 모듈 I의 내용 - 식물의 먹이는 무엇인가?

학생들은 Fast Plant 키우기와 명반으로 종유식 만들기를 동시에 수행하면서 그 과정을 관찰 일지에 기록한다. 2주일간의 관찰 기록을 근거로 식물이 자라는 것과 무생물이 자라는 방법의 차이를 분석하며 Fast Plant를 처음 화분에 심었을 때 화분의 무게와 식물이 성장한 2주일 후의 화분의 무게를 비교 분석하여 식물의 먹이가 흙이 아니라는 헬몬트의 탐구 과

정을 확인 학습하도록 한다. 그리고 2주일 간 키운 Fast Plant를 오븐을 이용하여 말린 후 발생하는 열량을 측정함으로써, 식물이 광합성을 하는 동안 빛 에너지를 식물체내의 화학 에너지로 바꾸어 축적한다는 사실을 확인한다. 모듈에서의 세부 질문은 '식물은 동물과 먹이의 종류 및 흡수 방법이 다른가? 식물의 생장은 종유석의 생장과 다른가? 우드워드드의 물의 종류에 따른 77일간 식물 무게 증가량 비교 실험 및 헬몬트의 흙의 무게 변화량 실험에서 얻은 결론은? 탐구 결과에 대한 해석의 중요성은? 속성식물에 축적된 에너지량 측정 실험에서 식물 에너지원의 근원 물질은? 섭취한 먹이가 에너지를 생산할 수 없다면 어떻게 생활에너지를 얻는가?' 등이다.

## 2) 모듈 II의 내용 - 식물이 양초를 꺼지게 한 공기를 다시 정화시킬 수 있는가?

밀폐된 공간에서 점화된 양초는 곧 꺼진다는 현상의 제시와 함께, '꺼진 양초에 다시 불을 붙이기 위해서 어떻게 하면 될까?' 라는 중심 질문이 도입되고, 학생들은 중심 질문에 대한 가설을 설정하며, 가설 검증을 위한 실험 과정을 설계한다. 학생의 탐구 활동 후에, 프리스틀리의 탐구 과정이 교사에 의해 소개되고 학생들의 아이디어와 과학자의 아이디어 또는 교사의 아이디어를 비교·절충하여 새로운 아이디어를 생산한다. 새롭게 설정된 가설 검증을 위한 탐구 설계와 수행, 가설의 평가를 통해 식물이 광합성을 통해 산소를 생산한다는 결론을 도출하게 된다. 구체적인 내용은 <부록 1>에 수록하였다.

## 2. 개발된 모듈의 적용 효과

### 1) 과학탐구능력 향상의 효과

#### (1) 통제반과 실험반의 과학탐구능력 비교

사전·사후 검사의 두 독립 표본 t-검정을 이용하여 두 집단 간의 유사성을 검정하였다. 사전 검사에서는 통제반과 실험반의 평균이 유의미한 차이가 없는 동질 집단이었으나, 사후 검사에서는 실험반의 평균이 통제반의 평균에 비해 2.84점 높게 나타났으며 유의미한 차이가 있었다 <표 7>. 따라서 개발된 모듈을 이용한 수업이 교과서에 제시된 실험 수업에 비해 학생들의 과학탐구능력 향상에 효과적이라고 할 수 있다.

특히 과학탐구능력의 하위 요소 중에서 측정(p<.05), 예상(p<.01), 가설설정(p<.05)의 영역에서 유의미한 차이를 나타내었다. 이러한 차이의 원인은 첫째, 교과서에서는 탐구의 절차나 방법이 모두 제공되고 학생들이 그에 맞춰 따라 하도록 구성되어 있는데, 개발된 모듈에서는 예상이나 가설 설정과 같은 탐구 과정을 학생이 직접 수행하도록 설계했기 때문이라고 생각된다. 둘째, Fast Plant를 기르면서 관찰하고, 키, 무게 등을 측정하는 과정이 학생들의 측정 능력의 향상에 유용했던 것으로 판단된다.

#### (2) 통제반과 실험반의 과학탐구능력 향상 효과 비교

두 종속 표본 t-검정을 이용하여 통제반과 실험반의 과학탐구능력 향상 효과를 검정한 결과, 통제반의 경우에는 사전·사후 검사의 평균 간에 유의미한 차이가 없었으나, 실험반의 경우에는 유의미한 차이를 보였다<표 8>. 따라서, 개발된 모듈을 이용한 수업이 교과서에 제시된 실험에 의존한 수업보다 학생들의 과학 탐구 능력 향상에 더욱 효과적이라고 할 수 있다. 이러한 결과는 광합성 색소와 관련된 중·고등학생의 창의력 및 과학적 사고력 향상을 위한 생물 실험 모듈을 적용한 실험이 기존의 실험 수업에 비해 학생들의 과학탐구능력을 향상시키는데 유의미한 차이가 있었다는 윤덕근 등(2003)의 연구나, 광합성에 관련

표 7 통제반과 실험반의 사전·사후 과학탐구능력

검사	집단	학생수 (명)	평균 (점)	표준 편차	표준 오차	t	df	p
사전	통제	30	18.17	5.99	1.09	0.27	56	0.79
	실험	27	18.56	4.87	0.94			
사후	통제	30	17.83	4.91	0.9	2.46	56	0.02*
	실험	27	20.67	3.61	0.69			

(30점 만점, \* p<.05)

표 8 통제반과 실험반의 사전·사후 과학탐구능력 검사 결과

집단	검사	학생수(명)	평균(점)	표준편차	표준오차	t	df	p
통제	사전	30	18.17	5.99	1.09	0.45	29	0.99
	사후	30	17.83	4.91	0.90			
실험	사전	27	18.56	4.87	0.94	3.40	26	0.00***
	사후	27	20.67	3.61	0.69			

(30점 만점, \*\*\*p<.001)

된 과학사를 활용한 수업의 효과에 대한 위관량과 김성하(2002)의 연구 결과와 일치하였다.

과학탐구능력의 하위 요소에 대한 실험반의 사전·사후 검사 결과를 비교해 본 결과 추리를 제외한 관찰, 분류, 측정, 예상, 자료변환, 자료해석, 가설설정, 변인통제, 일반화 영역의 사후 검사 평균이 사전 검사에 비해 높게 나타났으며, t-검정 결과 관찰(p<.01), 예상(p<.01), 일반화(p<.05) 영역에서 개발된 모듈을 적용한 수업이 효과적인 것으로 나타났다.

### 2) 광합성 관련 개념성취도 향상 효과

광합성 관련 개념 검사에서 사전 검사의 경우에 두 집단은 평균에 유의미한 차이가 없는 동질 집단이었다. 그러나 사후 검사에서는 실험반의 평균이 통제반에 비해 3.17점 높게 나타났으며 유의미한 차이가 있었다. 개발된 모듈을 적용한 수업이 교과서에 제시된 실험 수업에 비해 광합성과 관련된 개념성취도의 향상에 있어 더욱 유용한 것으로 나타났다(표 9). 이는 단순 암기식 수업에서 벗어난 과학사적 탐구과정을 접목한 수업이 개념 확립의 향상을 보인다는 정원우 등(2007)의 결과와 일치하는 것이다.

실험반의 광합성 관련 개념의 향상 정도를 개념별로 분류하여 살펴보면, 광합성과 기체 문항을 제외하고 생태계 내에서 에너지원인 유기물과 산소의 공급 원으로써 식물의 역할을 묻는 문항(p<.05), 식물의 먹

이와 관련된 문항(p<.001), 식물체 내에서 물과 양분의 이동에 대한 문항(p<.05)에서 유의미한 차이를 나타내었다(표 10).

### 3) 광합성 관련 개념 변화 패턴 분석

학생이 지닌 개념은 개인적 경험의 결과로 학습 이전에 형성된 것이 많기 때문에 전통적인 수업에 의해서는 쉽게 변화하지 않고 오히려 강화되거나 과학적 개념의 획득에 대한 갈등을 겪게 한다. 특히 생물교과에서 가장 어려워하는 주제 중 하나인 광합성에 대한 올바른 개념학습을 위해, 오개념이 과학적인 개념으로 변화되는 개념 변화를 거쳐야 한다(김동렬, 2008). 광합성 개념에 관한 성취도 검사 결과 나타난 실험반 학생들의 응답을 유형에 따라 단순 서술형, 직관적 관념형, 함목적적 설명형, 올바른 설명형, 틀린 설명형으로 범주화하여 광합성과 관련된 학생들의 개념 유형을 분석하고 수업 전·후의 개념 변화 패턴을 조사하였다. 검사지의 기록 내용만으로 판단이 애매한 답변에 대해서는 학생과의 면접을 통해 정확한 의사를 확인하였다. 조사 결과, 개념 간의 연결 고리가 없거나, 고정된 개념의 틀로 인해 틀린 설명형, 단순 서술형, 직관적 설명형이 많았다. 그러나 개발한 모듈 적용 수업을 통해 새로운 개념 획득, 혹은 개념의 확장이 일어나 올바른 설명형의 개념 유형으로 변화하였다. '아마존의 밀림은 지구의 허파라고 한다. 그 이유는 무엇일까요?' 라

표 9 통제반과 실험반의 사전·사후 광합성 관련 개념성취도 결과

검사	집단	학생수(명)	평균(점)	표준편차	표준오차	t	df	p
사전	통제반	30	9.90	3.01	0.55	-1.774	55	0.082
	실험반	27	11.37	3.25	0.63			
사후	통제반	30	10.90	3.48	0.63	-2.925	55	0.005**
	실험반	27	14.07	4.68	0.9			

(27점 만점, \*\* p<.01)



표 10 실험반의 개념 별 사전 · 사후 광합성 관련 개념성취도 분석 결과

광합성 개념	검사	N	평균	표준 편차	표준 오차	t	df	p
식물의 역할	사전	27	3.5	1.12	0.22	-2.331	26	0.028*
	사후	27	4.0	1.60	0.31			
식물의 먹이	사전	27	4.3	1.40	0.27	-5.341	26	0.000***
	사후	27	5.8	2.06	0.4			
물과 양분의 이동	사전	27	2.2	0.68	0.13	-2.53	26	0.018*
	사후	27	2.5	0.75	0.14			
광합성과 기체	사전	27	2.8	2.03	0.39	-1.857	26	0.075
	사후	27	3.3	2.11	0.41			

(\*\*\*p<.001, \*p<.05)

는 문항에 대한 예를 <표 11>과 <그림2>에 나타내었다. 식물이 공기를 정화하기 때문이라는 직관적 설명에 대해서는 1점을 부여하였으며, 허파의 기능을 식물의 산소 생산 능력 또는 가스교환 개념, 광합성과 관련된 개념과 연관된 설명에 대해서는 2점을 부여하였다. 사전에 대부분의 학생(85.2%)들이 식물의 공기 정화 작용을 인식하고 있었으며, 그 중에서 60.9%(14명/23명)의

학생들은 식물의 공기 정화 작용과 동물의 허파의 기능을 연관 지었다. 식물의 공기 정화 작용을 사전 개념으로 갖고 있던 학생들 중에서 44.4%(4명/9명)가 개발된 모듈의 수업을 통해 공기 정화 작용과 허파의 기능을 연관한 개념을 갖게 됨을 보여준다.

사전 검사와 달리 사후 검사에서 새롭게 나타난 올바른 설명형 응답 예는 <표 12>와 같다.

표 11 산소 생산자로서 식물의 역할에 대한 학생들의 개념 유형 및 개념 변화 패턴

개념 유형	배점	응답 예	응답 인원 명(%)		
			사전	사후	증감
1 틀린 설명형	0	1. 아마존의 사람들은 밀림에서 먹이를 얻으므로	2 (7.4)	1 (3.7)	-1
		2. 밀림의 모양이 허파처럼 생겨서			
		3. 나무가 많고, 많은 나무들이 물을 당기고, 물 속에서 살고 있으므로			
2 단순 서술형	0	1. 맑고 깨끗한 공기와 물이 있으므로	2 (7.4)	3 (11.1)	1
		2. 환경오염이 없으며, 수 천가지 등 · 식물이 살고 있으므로			
3 직관적 설명형	1	1. 숲이 우거져 우리가 숨쉬는 공기의 대부분이 나오기 때문	9 (33.3)	5 (18.5)	-4
		2. 지구 공기의 50%는 거기에서 나오기 때문			
		3. 아마존의 숲은 더러운 공기를 빨아들이고, 깨끗한 공기를 내 보내므로			
4 올바른 설명형	2	1. 식물은 탄소를 흡수하고 산소를 생산하며, 밀림에는 식물량이 아주 많으므로	14 (51.9)	18 (66.7)	4
		2. 숲이 우거져 있고, 숲의 나무가 이산화탄소를 빨아들이고 산소를 내 뿜기 때문			
		3. 이산화탄소와 산소를 바꾸어, 우리 몸의 허파와 비슷한 일을 하는 숲이 우거져 있으므로			
		4. 식물은 광합성 과정에서 산소를 생산하며, 아마존에는 식물이 많기 때문에			

응답 예에서 진한 글씨체는 사후 검사에서 새롭게 나타난 경우임.

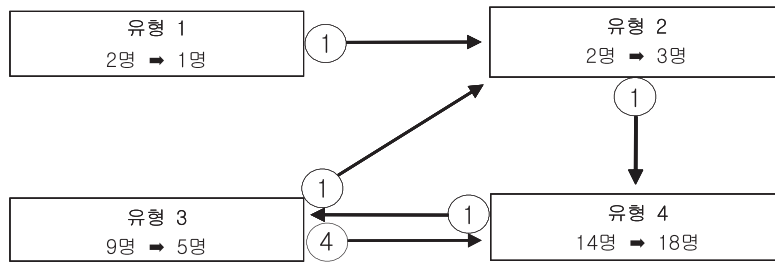


그림 2 산소 생산자로서 식물의 역할에 대한 개념 변화 패턴

표 12 사후 검사에서 새롭게 나타난 광합성 개념 검사 응답의 예

문항	질문 내용	새로운 응답의 예
1	식물이 사라진다면, 늑대가 살 수 없는 이유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식물이 없다면 산소가 생산되지 않아 늑대는 살수 없다.</li> <li>• 식물이 생산한 산소를 동물이 받아들여 영양분을 태워 에너지를 생산한다. 따라서 식물이 없다면 동물은 에너지를 생산할 수 없다.</li> </ul>
2	식물 생장에 필요한 환경 요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식물 생장에 필요한 환경 요인으로 온도와 광합성 개념을 중시해야 한다.</li> </ul>
3	식물도 먹이가 필요한 이유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영양분 생산 원료 · 광합성 · 에너지 생산 위해 먹이가 필요하다.</li> </ul>
4	동물과 식물의 먹이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동물은 완성품을 먹지만 식물은 스스로 만들어 먹는다.</li> <li>• 동물은 여러 양분의 집합체이나 식물은 에너지를 생산할 수 있는 광합성 재료를 먹는다.</li> </ul>
5	녹색 식물 내 물의 이동의 방향과 이유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광합성에 필요한 수분을 잎까지 운반하기 위해 물이 이동한다.</li> </ul>
6	녹색 식물내 영양 물질의 이동과 이유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 잎에서 햇빛과 물로 양분을 얻어 위에서 아래로 나눠준다.</li> <li>• 영양물질은 뿌리로부터 위로 혹은 광합성 결과 생성되어 아래로 운반되기도 한다.</li> </ul>
7	크놈액의 성분에 탄소가 포함되지 않은 이유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탄소는 식물이 호흡하는 과정에서 생기기 때문</li> </ul>
8	아마존의 밀림이 지구의 허파라고 하는 이유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 숲이 우거져 숲의 나무가 CO<sub>2</sub>를 흡수하고 산소를 방출하므로,</li> <li>• CO<sub>2</sub>와 산소를 바꾸어 우리 몸의 허파와 비슷한 일을 하는 숲이 우거져 있으므로</li> </ul>
9	Hales 실험의 의미	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식물의 광합성 과정에서 유리중 내의 CO<sub>2</sub>를 받아들여 물을 배출하기 때문</li> </ul>

## V. 결론 및 제언

이 연구에서는 속성 식물인 Fast Plant를 실험의 소재로, 초기 광합성 연구를 수행한 과학자의 탐구 과정을 재구성한 실험 모듈을 개발하고, 중학생 대상의 수업에 적용하여, 과학탐구능력과 광합성과 관련된 학생들의 개념성취도 향상, 개념의 유형 및 개념 변화의 패턴을 알아보았다.

개발된 모듈을 적용한 실험반의 수업이 제7차 교육과정의 중학교 과학 교과서에 제시된 실험을 적용한 통제반의 수업에 비해 학생들의 과학 탐구 능력 향상에 효과적인 것으로 나타났다. 실험반 수업이 통제반 수업에 비해 과학탐구능력의 하위 요소 중에서 측정,

예상, 가설 설정 능력의 향상에 더 효과적인 것으로 나타났다. 개발된 모듈이 과학탐구능력의 하위 요소 중 어떤 능력의 신장에 효과적인지 실험반의 사전-사후 검사 결과를 비교해 본 결과, 관찰, 예상, 일반화 능력의 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다. 실험반 수업은 통제반 수업에 비해 학생들의 광합성 관련 개념성취도에 더 효과적인 것으로 나타났다. 실험반의 수업은 생태계 내에서의 식물의 역할, 식물의 먹이, 식물체 내에서 물과 양분의 이동과 관련된 학생들의 개념 발전에 효과가 있었다. 광합성과 관련된 실험반 학생들의 선행 개념은 피상적인 관찰에 바탕을 두고 있으며, 이산화탄소나 산소와 같이 눈에 보이지 않는 물질의 존재나 역할, 또는 에너지의 축적과 같은 추상

적 개념에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났다.

개발된 모듈을 적용한 수업은 유기물과 산소 생산자인 식물의 역할에 대한 포괄적인 개념 형성에 효과가 있었다. 그리고 광합성의 원료 물질과 식물의 먹이와 같이 광합성과 관련된 개별 개념들을 관련지어 광합성을 의미 있게 이해하게 하는데 효과가 있었다. 실험의 수행, 결과 해석, 결론 도출에 많은 비중을 두고 있는 교과서에 의존한 수업은 가설 설정, 실험 설계, 결과의 예측과 같은 탐구의 중요한 요소를 소홀히 할 수 있다. 그러므로 교과서에 제시된 내용들은 교사에 의해 학습자의 수준에 맞춰 호기심을 유발할 수 있도록 재구성되어야 한다. 이 연구의 실험소재로 활용한 Fast Plant 그리고 학습자의 호기심을 유발할 수 있는 학습 재료는 학생들의 과학탐구능력과 광합성 관련 개념의 성취에 유용하게 사용되었다.

## 참고 문헌

- 강경희, 허명(2005). 과학사 도입 수업이 과학 성취도와 태도에 미치는 효과 - 7학년 '생명' 영역을 중심으로. 한국과학교육학회지, 25(7), 765-772.
- 권재술, 김범기(1994). 초·중학생들의 과학탐구능력 측정도구의 개발. 한국과학교육학회지, 14(3), 251-264.
- 김동렬(2008). Driver의 개념변화 학습 모형을 적용한 수업이 고등학생들의 식물의 광합성과 호흡의 오개념 교정에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 29(6), 712-729.
- 김찬중, 박시진, 조현수, 김희백, 정진문, 양재철, 현종오, 한송희, 최후남, 오차환, 장홍식, 홍경희(2002). 중학교 과학 2. (주)도서출판 디딤돌.
- 김한수, 허명, 이길재, 정완호, 김성하(2001). Rapid-cycling *Brassica rapa*를 이용한 생물탐구 수업 효과. 한국생물교육학회지, 29(1), 78-86.
- 김현미(2006). 과학교과서에 나타난 과학사의 도입 유형 분석틀 개발 및 고등학교 생물교과서의 과학사 도입 유형 분석. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 동효관, 홍준의, 신영준, 김경호, 이길재(2002). 과학사를 이용한 과학영재 생물교수학습 모듈 개발. 한국생물교육학회지, 30(4), 363-373.
- 박봉상, 김윤우, 홍달식, 박문수, 정대영, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 최병수, 진만식(2002). 중학교 과학 2. (주)동화사.
- 소현수, 안태인, 최승언, 박건식, 목창수, 김종권, 김득호, 구수길, 박완규, 김완섭, 김영산(2002). 중학교 과학 2. (주)두산.
- 오창호(2008). 과학자의 실제적 연구 과정에 기반한 과학영재를 위한 탐구모델 개발. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 위관량, 김성하(2002). 광합성 연구의 과학사를 활용한 수업의 효과. 한국생물교육학회지, 30(2), 126-135.
- 윤덕근, 김성하, 차희영, 이길재, 정완호(2003). 고등학생들의 창의력 및 과학적 사고력을 높이기 위한 식물 색소 관련 실험 모듈의 개발. 한국생물교육학회지, 31(2), 181-190.
- 이광만, 허동, 이경운, 정문호, 방태철, 이기성, 안태근, 정상윤, 복완근, 정익현, 박정일, 박병훈, 이천기, 송양호, 박지극, 정수도, 김경수(2002). 중학교 과학 2. (주)지학사.
- 이기영(1998). 과학사를 이용한 지구과학 개념학습 지도에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
- 이성묵, 이문원, 채광표, 권석민, 김기대, 손영운, 김영수, 노태희, 김윤택, 정지오, 이세영, 서인호(2002). 중학교 과학 2. (주)금성출판사.
- 이현미, 김성하, 차희영, 이길재, 정완호(2002). Rapid-cycling *Brassica rapa*를 이용한 창의력 및 과학적 사고력 향상을 위한 광합성 실험 모듈의 개발. 한국생물교육학회지, 30(4), 289-300.
- 정배현, 김희백(2003). 과학사 프로그램의 개발 및 고등학교 과학 수업에의 적용 효과. 한국생물교육학회지, 31(1), 94-104.
- 정완호, 권재술, 김범기, 김성하, 백성혜, 우종욱, 이봉호, 이석형, 정진우, 최병순(2002). 중학교 과학 2. (주)교학사.
- 정원우, 이우봉, 문장수, 이일형, 김기정, 김은주, 손동일, 방경곤(2007). 창의력 증진을 위한 과학사적 교수 학습 자료 개발. 중등교육연구, 55(1), 91-135.
- Jenkins, E. (2007). School science: a questionable construct? *Journal of Curriculum Studies*, 39(3), 265-282.
- Mattews, M. R. (1992). History, philosophy,

and science teaching: The present reapprachment. *Science & Education*, 1(1), 11-47.

Solomon, J. (1992). Teaching about the nature of science through history. *Action Research in the Classroom Science Teaching*, 29(5), 409-421.

Williams, P. H. & Hill, C. B (1986). Rapid-cycling populations of *Brassica*. *Science* 232, 1385-1389.

### 국문 요약

이 연구는 초기 광합성 연구자의 탐구 과정을 재구성하여 중학생들의 과학탐구능력과 광합성 관련 개념의 향상을 위한 실험 모듈을 개발한 후, 이의 적용 효과를 알아보고 광합성과 관련된 학생들의 선행 개념 유형과 개념 변화의 패턴을 분석하고자 하였다. 실험 재료로는 Rapid-cycling *Brassica rapa* 라는 속성 식물을 사용하였다. 개발된 모듈을 적용한 실험반의

수업은 교과서에 제시된 실험을 적용한 통제반의 수업에 비해 학생들의 과학탐구능력 향상에 효과적이었으며, 과학탐구능력의 하위 요소 중에서 측정, 예상, 가설 설정 능력의 향상에 효과적이었다. 실험반의 사전-사후 검사 결과를 비교해 본 결과, 관찰, 예상, 일반화 능력의 향상에 더욱 효과가 있는 것으로 나타났다. 개발된 모듈은 광합성 관련 개념 성취 및 생태계 내에서의 식물의 역할, 식물의 먹이, 식물체 내에서 물과 양분의 이동과 관련된 개념 발달에 효과가 있었다. 학생들은 선행 개념으로 이산화탄소나 산소와 같이 눈에 보이지 않는 물질의 존재나 역할 또는 에너지의 축적과 같은 추상적 개념에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났으나, 이 연구에서 개발된 모듈을 적용한 결과 유기물과 산소 생산자인 식물의 역할에 대한 포괄적인 개념 발달에 효과가 있었으며, 과학탐구능력과 광합성 관련 개념의 향상에 효과가 있었다.

주요어: 실험 모듈, 탐구 과정, 광합성 연구자, 개념 발달

## 〈부록 1〉 모듈 II. 식물이 양초를 꺼지게 한 공기를 다시 정화시킬 수 있는가?

### 1. 탐구 목표

과학 탐구 능력 면
1. 현상을 자세히 관찰한 후, 논리적으로 설득력이 있으며 검증 가능한 가설 설정을 할 수 있다. 2. 다른 사람의 의견을 경청하고, 자신의 의견을 조리 있게 설명하는 의사소통 능력이 있으며, 정보를 수집, 절충하여 새로운 아이디어를 생산할 수 있다. 3. 가설의 검증 실험을 설계할 수 있으며, 적절히 실험과 관련된 변인 통제를 할 수 있다. 4. 논리적으로 가설의 검증 실험 결과 예측을 할 수 있다. 5. 실험 결과 해석을 통해 가설 평가하며, 결론을 진술할 수 있다.
광합성 관련 지식 면
1. 식물이 광합성 과정을 통하여 산소를 생산함을 설명할 수 있다.

### 2. 수업흐름도

탐 구 과 정	내 용	차시
1. 탐구문제 설정	1. 현상의 제시- 관찰 2. 물질의 연소에 대한 학생들의 idea 도출 3. 중심 질문 도입- 의문 생성	3/4
2. 현상의 탐구	1. 가설 설정 (개별 가설 설정 → 토론을 통한 아이디어 절충 → 조별 중심 가설 설정) 2. 탐구 설계(개별 탐구 설계 → 토론 → 조별 탐구 방법 결정) 3. 탐구 결과의 예측	
3. 과학자의 탐구과정 소개	1. Priestley 탐구 과정 소개 2. 과학자의 탐구 과정에 포함된 탐구 요소의 비판적 분석 3. 과학자의 탐구 과정과 학생의 아이디어 비교 4. 새로운 아이디어 생산	
4. 아이디어의 절충·조정·적용	1. 중심 가설 설정 (학생·과학자·교사의 아이디어 절충) 2. 탐구 설계 및 결과의 예측 3. 탐구 수행 4. 탐구 결과 해석 및 결론 진술	4/4
5. 아이디어의 변화 반영	1. 탐구 과정을 통한 학생들의 변화 반영 2. 추가적 의문 생성	

### 1. 탐구 문제 설정 / 학생들의 Idea 도출

물질의 연소나 동물의 호흡에 의해 공기는 탁해진다. 지구가 생겨난 이래로 동물들의 호흡에 의해 탁해진 공기의 양, 모든 종류의 불, 화산, 등에 의한 공기의 소비량은 얼마나 될까? 보통 양초 하나를 연소시키는데 약 1 gallon\*의 공기가 필요하다. 그렇다면 현재의 공기는 과거의 그 어느 때 보다도 동물이 호흡하는데 더 적절치 못해야 하며, 생활에 부적절한 상태로 되어있어야 한다. 그렇게 생각할 만한 근거가 있는가?

☞ 양초가 연소되기 위해서는 무엇이 필요할까요? 필요하다고 생각하는 것을 모두 적어 보세요. 양초의 연소에 필요한 것 :

\*영국 gallon (4,546ℓ), 미국 gallon (3,7853ℓ)

☞ 현재의 공기는 과거의 그 어느 때 보다도 동물이 호흡하기에 더 부적절한가요? 만약 그렇다면 시간이 지날수록 공기는 점점 더럽혀져 언젠가는 우리가 이용할 수 없는 것으로 되어야 할 것입니다. 정말 그럴까요? 그렇다면 또는 그렇지 않다면 그렇게 생각하는 이유는 무엇인가요?

현재의 공기는 동물이 호흡하기에 적당하지 않다.

현재의 공기는 동물이 호흡하기에 적당하다.

이유 :

☞ 만약, 현재의 공기가 동물의 호흡에 부적절하지 않다면, 자연에는 탁해진 공기를 정화할 수 있는 어떤 장치가 있는 것일까요? 있다면, 그 역할은 누가 담당하고 있을까요?

[중심 질문]

밀폐된 공간에서 양초를 연소시키면, 어느 정도 타다가 꺼진다. 꺼진 양초에 다시 불을 붙이려면 무엇이 필요할까?

## 2. 현상의 탐구 / Idea 의 공유 · 절충 · 확장

### 1. 가설 설정

☞ 밀폐된 공간에서 타던 양초를 2~3일 가랑 두었다가, 양초에 다시 불을 붙이려고 합니다. 어떻게 하면 꺼진 양초에 다시 불을 붙일 수 있을까요?

내가 세운 가설 :

가설 설정의 이유 :

우리 조의 가설 :

### 2. 탐구 설계

☞ 내 생각이 옳다는 것을 어떻게 증명할 수 있을까요? 그것을 증명할 방법을 설계하여, 순서에 따라 차례대로 써 봅시다.

1.

2.

☞ 우리 조의 탐구 설계

1.

2.

☞ 우리 조에서 결정한 탐구 설계, 처음 나의 탐구 설계는 어떤 차이점이 있다면, 왜 나는 처음 나의 생각을 바꾸게 되었나요? 그 이유를 써 주세요.

### 3. 결과의 예측

☞ 어떠한 결과가 예측되나요?

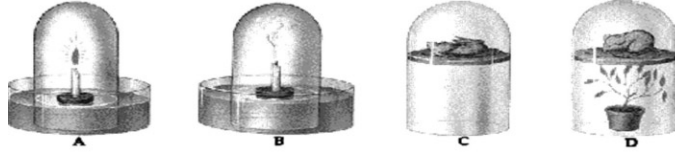
## 3. 과학자에 의한 탐구 과정 소개 / 학생들의 Idea와 대조

### Priestley (1772)의 탐구

녹색식물의 생장에 있어서 공기의 본질적인 역할을 밝히는 일련의 실험을 시작한 사람은 Priestley였다.

**1. 현상의 관찰 및 의문 :**

- 1) 밀폐된 공간에서 타고 있는 양초(A)는 곧 꺼진다(B).
- 2) 밀폐된 공간의 쥐 역시 곧, 죽는다(C).
- 3) 그러나 여기에 식물체를 옮겨 놓으면, 쥐는 죽지 않는다(D).  
식물이 탁해진 공기를 부활시키는 힘이 있는가?



**2. 가설 설정의 준거 :**

- 1) 타는 양초나 공기를 호흡해야 하는 동물은 공기를 탁하게 한다.
- 2) 일단, 공기가 동물에 의해 탁해지면, 그 공기를 다시 신선한 것으로 되돌릴 수 있는 어떠한 방법도 아직 발견되지 않았다.  
그러나 프리스틀리는 다음을 근거로, 위와 같은 그의 생각에 모순이 있음을 알았다.
- 1) 동물에 의해 탁해진 공기가 다시 그들이 호흡하기에 적절한 공기로 될 어떤 과정 없이는, 공기 집단 전체가 바로 동물 생활의 목적에 부적절하게 될 것이다.
- 2) 이것은 모든 실험과 생명의 역사에 반대되며,
- 3) 과거의 그 어느 때보다도, 현재의 공기가 호흡에 있어 더 적절치 못하다고 생각할 수 있는 근거는 없다.
- 4) 보통 양초 하나를 연소시키는데 약 1 gallon의 공기가 필요하며, 모든 종류의 불, 화산 등등에 의한 공기의 놀라운 소비량을 고려하면, 불꽃에 의해 공기는 무엇으로 변화할 것이며, 자연에는 공기가 입은 상처를 치료하기 위한 어떤 준비가 있는 것 같다.

**3. 의문에 대한 설명 :**

불꽃이나 동물의 호흡에 의해 해를 입은 공기를 녹색식물이 자연 보충시키는 방법이 있다. 즉 식물은 동물의 호흡과 양초의 연소로 사라진 공기를 보충한다.

**4. 가설의 검정 계획 및 수행 :**

- 용기 속의 공기가 더러워지도록 양초나 동물을 이용해야 한다. 그리고, 용기 속으로 신선한 공기의 공급을 차단하고, 식물을 그 용기 속에 넣거나 초에 다시 불을 붙여야 한다. 어떻게 밀폐된 공간에 양초와 식물을 위치할 것이며, 또 양초에 불을 붙일 것인가?
- 1) 양초의 연소로 탁해진 공기가 들어있는 유리종 속에 어린 박하 가지를 넣고,
  - 2) 햇빛 아래 2일을 둔 후,
  - 3) 양초를 재점화 하였다. <유리종 속으로 다른 공기가 들어가는 것을 막기 위해 집광 렌즈로 태양 빛을 모아 서 점화하였다>

**5. 가설 평가의 준거가 되는 논리적 예측 :**

식물이 탁해진 공기를 다시 원래로 되돌리는 힘이 있다면, 양초가 잘 연소될 것이다.'

**6. 가설의 평가 :**

양초가 매우 잘 연소되었다. 따라서 프리스틀리의 가설은 지지되었다.

### 7. 결론 진술:

식물은 탁해진 공기를 부활시킨다.

- ☞ 프리스틀리의 가설이 옳다면 실험 결과는 어떻게 나와야 할까요?
- ☞ 프리스틀리의 가설과 여러분이 설정한 가설에는 어떤 차이가 있는가요? 어떠한 가설이 논리적으로 더욱 설득력이 있으며, 그 이유는 무엇일까요?
- ☞ 프리스틀리의 탐구 과정에서 문제점은 없나요? 프리스틀리의 탐구 설계에서 개선되어야 할 점은 무엇인가요?

## 4. Idea 의 절충 · 조정 · 적용

### 1. 가설 설정

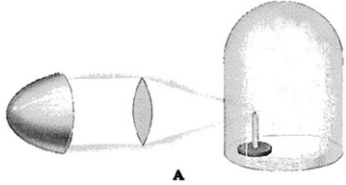
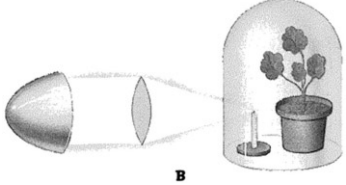
가설 : 양초와 식물을 함께 두면, 식물이 탁해진 공기를 정화하여 양초가 재 점화 될 것이다.

### 2. 탐구 설계

**준비물**  
 • R<sub>c</sub>Br • 양초 • 돋보기 • 유리종 • 광원장치 또는 햇빛

**과정**

- ① 두 개의 유리종을 준비하여, 하나의 유리종 속에는 양초 만을 넣고(장치A), 또 하나의 유리종 속에는 R<sub>c</sub>Br과 양초를 함께 넣는다(장치B).
- ② 광원장치의 빛을 돋보기로 모아, 양초에 점화한다.
- ③ 점화된 후, 양초는 어떻게 되는지 관찰한다.
- ④ 양초가 꺼지면, 햇빛 아래서 2일간 방치한다.
- ⑤ 2일 후, ②와 같은 방법으로 양초에 재 점화한다.

- ☞ 실험군과 대조군은 각각 무엇인가요? 실험군 :            대조군 :
- ☞ 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인에는 어떤 것이 있을까요?
- ☞ 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인들 중에서, 실험 과정에서 일정하게 유지해야 할 요인과 변화시켜야 할 요인은 각각 무엇인가요?
- ☞ 실험 장치를 할 때, 주의해야 할 점에는 어떤 것이 있으며, 그 이유는 무엇인가요?

### 3. 탐구 결과의 예측

결과의 예측 : 유리종 속의 식물이 공기를 정화한다면, 양초는 재 점화 될 것이다.

### 4. 탐구 수행



### 5. 결과 해석 및 결론 진술

- ☞ 처음 양초에 불을 붙였을 때, 각 장치의 양초가 꺼지는 데 걸린 시간은?
- ☞ 얼마간 타던 양초가 꺼지는 이유는 무엇인가요?
- ☞ 2일 후, 각 장치의 양초는 재 점화되었나요?
- ☞ 어떤 장치에 양초가 재 점화 되었다면 그 까닭은 무엇일까요?

### 5. Idea의 변화 반영 / 새로운 idea와 연결

- ☞ 위의 탐구 과정에서 식물이 생산한 기체는 무엇인가요?
- ☞ 위의 탐구 과정 중, 장치를 햇빛이 잘 드는 곳에 2일 동안 방치한 이유는 무엇인가요?
- ☞ 만약 장치를 어두운 곳에 두었다면 결과는 어떻게 되었을까? 또 그렇게 된 까닭은 무엇일까요?
- ☞ 식물이 생산하는 기체는 무엇인가? 수행한 실험은 그 기체가 무엇인지 확신할 수 있는 증거가 될 수 있는가? 그 까닭은 무엇인가요?
- ☞ 위의 탐구 활동 결과는, 식물이 양초의 연소로 탁해진 공기를 정화하는 데 빛이 필요하다는 증거가 될 수 있는가? 만약 그렇지 않다면, 빛이 필요하다는 것을 증명하기 위해, 어떤 실험을 추가적으로 해야 할까요?